

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-257098  
(P2001-257098A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 5 H 1/46		H 0 5 H 1/46	M 4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/50		C 2 3 C 16/50	5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
21/3065		21/302	B

審査請求 有 請求項の数23 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-69044 (P2000-69044)

(22) 出願日 平成12年3月13日 (2000.3.13)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 山越 英男

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1  
三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(72) 発明者 佐竹 宏次

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1  
三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

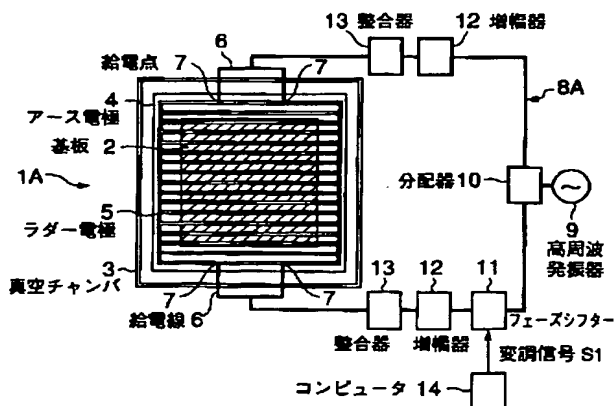
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成方法および半導体製造方法

(57) 【要約】

【課題】 大面積の製膜およびエッチング処理に高周波 (VHF) を用いて均一な処理を行うことができる放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成方法および半導体製造方法を提供する。

【解決手段】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、高周波電力の位相および周波数位相のうち少なくとも一方を時間的に変化させることにより、放電電極内に生じる電圧分布を変化させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、前記高周波電力の電圧波形の位相を時間的に変化させることにより、前記放電電極内に生じる電圧分布を変化させることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項2】 請求項1記載の給電方法において、前記放電電極に複数の給電点を介して給電することを特徴とする給電方法。

【請求項3】 請求項2記載の給電方法において、1つの給電点への位相と他の少なくとも1つの位相との差を、時間的に変化させることを特徴とする給電方法。

【請求項4】 請求項3記載の給電方法において、位相の差を時間的に変化させる手段としてフェーズシフターを用いることを特徴とする給電方法。

【請求項5】 請求項4記載の給電方法において、前記フェーズシフターを、高周波電力の発振周波数を決める発振器と、その信号を必要電力に増幅する増幅器との間に挿入することを特徴とする給電方法。

【請求項6】 請求項1乃至3のいずれか1記載の給電方法において、高周波電力の周波数をFM変調することによって位相を変化させることを特徴とする給電方法。

【請求項7】 請求項6記載の給電方法において、FM変調周波数の変調のシフトパターンを変化させることを特徴とする給電方法。

【請求項8】 請求項1乃至7のいずれか1記載の給電方法において、位相もしくはFM変調周波数の時間変化を、コンピュータで制御することを特徴とする給電方法。

【請求項9】 請求項1乃至8のいずれか1記載の給電方法において、特定の位相またはFM変調周波数を用いて給電する際に、電圧分布、プラズマ発生密度分布、ラジカル発生密度分布、製膜分布、エッチング分布および半導体膜特性分布のうち少なくとも1つを予め複数の位相またはFM変調周波数について計測しておき、その計測結果に基づいて必要な分布を得るために、前記特定の位相またはFM変調周波数で給電する時間、周期および頻度のうち少なくとも1つを調整し、時間平均または時間積分を用いて均一分布を得ることを特徴とする給電方法。

【請求項10】 請求項1乃至9のいずれか1記載の給電方法において、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命より短くすることを特徴とする給電方法。

【請求項11】 請求項10記載の給電方法において、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、プラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命の1/2以下とするこ

とを特徴とする給電方法。

【請求項12】 請求項1乃至11のいずれか1記載の給電方法において、シランによる製膜の場合、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、下式から得られるSiH<sub>3</sub>活性分子の寿命 $\tau$ と実質的に同じとするか、又は、水素原子ラジカル寿命の $1.1 \times 10^{-4}$ 秒間と実質的に同じとするか、又は、これら両者の時間より短くすることを特徴とする給電方法。

$$\tau \approx (\Delta x)^2 / (2D)$$

但し、Dは拡散係数で $D = 2.5 \times 10^3$  (cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>)、 $\Delta x$ は電極から基板までの距離 (cm)

【請求項13】 請求項12記載の給電方法において、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、前記 $\tau$ または $1.1 \times 10^{-4}$ 秒間の1/2以下とすることを特徴とする給電方法。

【請求項14】 請求項1乃至13のいずれか1記載の給電方法において、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子または活性分子またはイオンの発生寿命より長く、かつ10倍以下とすることを特徴とする給電方法。

【請求項15】 請求項14記載の給電方法において、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、プラズマ中の活性原子または活性分子またはイオンの発生寿命の2倍以上4倍以下とすることを特徴とする給電方法。

【請求項16】 給電された高周波電力にもとづいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、前記高周波電力の電極への給電部に水素、アルゴン、ネオン、ヘリウム、窒素などの、製膜成分のデポジットや粉の発生を抑制するガスを局所的に供給することを特長とする給電方法。

【請求項17】 請求項1乃至16のいずれか1記載の給電方法において、放電電極がラダー型電極であることを特徴とする給電方法。

【請求項18】 請求項1乃至17のいずれか1記載の給電方法を用いてプラズマを空間的および時間的に移動させることにより、プラズマ内の活性分子の発生を高効率化することを特徴とする高周波プラズマ生成方法。

【請求項19】 給電された高周波電力にもとづいて高周波プラズマを発生させる方法であって、製膜成分のデポジットや粉の発生を抑制したい領域に、水素、アルゴン、ネオン、ヘリウム、窒素などの、製膜成分のデポジットや粉の発生を抑制するガスを局所的に供給することを特長とする高周波プラズマ生成方法。

【請求項20】 請求項18に記載の高周波プラズマ生成方法を用いて、半導体薄膜の製膜もしくはエッチングの分布均一化を図ることを特徴とする半導体製造方法。

【請求項21】 請求項18に記載の高周波プラズマ生

成方法を用いて、半導体の製膜もしくはエッチングの高速化を図ることを特徴とする半導体製造方法。

【請求項22】 請求項16または19に記載の高周波プラズマ生成方法を用いることを特徴とする半導体製造方法。

【請求項23】 請求項1乃至22のいずれか1記載の方法において、使用する高周波の周波数が10～800MHzの範囲にあることを特徴とする半導体製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマCVD製膜やエッチング処理に用いられる放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成方法および半導体製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えばプラズマCVD法を用いて作製される太陽電池用薄膜半導体、フラットパネルディスプレイ用薄膜トランジスタなどは、高速製膜による低コスト化、および、低欠陥密度、高結晶化率などの高品質化が求められている。これらの要求を満たす新しいプラズマ生成方法として、高周波電源の高高周波化(30MHz～300MHz)がある。高周波化により製膜速度の高速化と高品質化が両立されることが、例えば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, pp9, 1997に記されている。特に、a-Siに代る新しい薄膜として注目されている微結晶Si薄膜の高速高品質製膜にこの高周波(VHF)が適していることが最近分ってきている。

【0003】ところが、この高周波(VHF)による製膜は、均一大面積製膜が難しいという欠点がある。これは、高周波の波長が電極サイズと同程度のオーダーであることから、電極端などで生じる反射波を主因とする定在波による電圧分布が電極面内に発生し、それにもないプラズマが不均一となり、結果、製膜は不均一になるためと考えられる。

【0004】平行平板電極を用いた場合、電極サイズが30cmを越え、または、周波数が30MHzを越えると、上記定在波の影響が顕著となり、半導体製膜上好ましい製膜膜厚均一性±10%の達成が困難になる。

【0005】図10は、横軸に開放端からの距離をとり、縦軸に電圧Vppおよびイオン飽和電流をとって、100MHzでの電圧分布の一例とともにイオン飽和電流分布を示す特性線図である。イオン飽和電流分布は、電子密度分布にほぼ等しく、計測が簡単であるので、一般にプラズマ分布の指標として用いられる。電圧分布を見ると電極上に定在波が生じており、それに対応してイオン飽和電流分布すなわちプラズマ分布が不均一になっていることが分る。このように電極の一箇所のみに給電する1点給電法では定在波が顕著に生じてしまうので、定在波の発生を防止するために電極の四個所に給電する

4点給電法が提案されている。

【0006】また、これと、特開平4-236781号に詳細が報告されているラダー電極を用いることで、さらなる均一化が図れる。これは、平行平板型電極は非常に高い電界分布の均一性が必要とされるため、例えば電極間隔が全面にわたって高い精度で一定に保たれている必要があるのに対し、ラダー電極は電極棒の周囲に出来る電界は電極径で決まり、しかも強いので、均一なプラズマを発生させるための条件が平行平板より緩やかであるためである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、4点給電法とラダー電極を併用した場合であっても、電極サイズが30cmを越え、または、周波数が80MHzを越えると均一な製膜の実現が難しくなってくる。

【0008】図11に60MHzおよび100MHzで4点給電したときのラダー電極上に生じる電圧分布を示す。60MHzでは比較的均一な電圧分布を示しているが、100MHzでは不均一になってしまっている。

【0009】また、4点の給電位置は、試行錯誤的に最適位置を見つける必要があり、非常に手間暇がかかるという問題がある。

【0010】さらに、ガス圧、高周波電力などの製膜条件を変更すると、最適位置が変わってしまうという問題がある。

【0011】以上のような問題は学会でも注目され、これまでたとえば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, pp33, 1995に記されているように、平行平板の給電側と反対側にロスのないリアクタンス(コイル)を接続することが提案されている。

【0012】これは、定在波の電極端からの反射条件を変えることで、定在波の波形の中で分布が比較的平らな部分、たとえばsin波の極大付近を電極上に発生させて、電極に生じる電圧分布を少なくするものである。しかしながら、この方法は定在波を根本から無くすのではなく、sin波のうち平らな部分が電極上に発生するようにするだけであるため、均一部分が得られるのは波長の1/8程度までであり、それを越える範囲の均一化は原理的に不可能である。

【0013】図12に100MHzで平行平板の一端をロスのないリアクタンス(コイル)で終端したときの電圧分布を示す。このように、終端端から30cm程度は均一であるが、それ以上は不均一になってしまっており、この部分は製膜に用いることができない。

【0014】本発明は上記の課題を解決するためになされたものであって、大面積の製膜やエッチング処理に高周波(VHF)を用いる放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成方法および半導体製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明に係る放電電極への給電方法は、給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、前記高周波電力の位相を時間的に変化させることにより、前記放電電極内に生じる電圧分布を変化させることを特徴とする。

【0016】なお、複数の給電点を介して放電電極に給電し、1つの給電点への位相と他の少なくとも1つの位相との差を時間的に変化させることが肝要である。この場合に、位相の差を時間的に変化させる手段としてフェーズシフターを用いることが更に好ましい。また、フェーズシフターは、高周波電力の発振周波数を決める発振器と、その信号を必要電力に増幅する増幅器との間に挿入することが好ましい。

【0017】また、高周波電力の周波数をFM変調することによって位相を変化させることが好ましい。この場合に、FM変調周波数の変調のシフトパターンを変化させることが更に好ましい。また、位相もしくはFM変調周波数の時間変化を、コンピュータで制御することが好ましい。

【0018】また、特定の位相またはFM変調周波数を用いて給電する際に、電圧分布、プラズマ発生密度分布、ラジカル発生密度分布、製膜分布、エッチング分布および半導体膜特性分布のうち少なくとも1つを予め複数の位相または周波数について計測しておき、その計測結果に基づいて必要な分布を得るために、前記特定の位相で給電する時間、周期および頻度のうち少なくとも1つを調整し、時間平均または時間積分を用いて均一分布を得ることが好ましい。

【0019】また、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命より短くすることが好ましい。

【0020】また、位相またはFM変調周波数を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、プラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命の1/2以下とすることが好ましい。

【0021】本発明において、シランによる製膜を行う場合は、位相を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、下式(1)から得られるSiH<sub>3</sub>活性分子の寿命 $\tau$ と実質的に同じとするか、又は水素原子ラジカル寿命の1.1×10<sup>-4</sup>秒間と実質的に同じとするか、又はこれら両者の時間より短くすることが好ましい。

【0022】 $\tau \approx (\Delta x)^2 / (2D)$  … (1)  
但し、Dは拡散係数でD=2.5×10<sup>3</sup>(cm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)、 $\Delta x$ は電極から基板までの距離(cm)とする。

【0023】この場合に、位相を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、前記 $\tau$ または1.1×10<sup>-4</sup>秒

間の1/2以下とすることが更に好ましい。

【0024】ガス圧力50mTorrでのSiH<sub>4</sub>プラズマ中におけるSiH<sub>3</sub>は長寿命である。

【0025】これに対して、さらに水素原子が分離した活性分子、例えば、SiH<sub>2</sub>の寿命は僅かに2.47×10<sup>-6</sup>秒間にすぎない。そのため、シランによる製膜を支配する製膜種はSiH<sub>3</sub>である。一方、基板表面での表面反応を支配するのは、このSiH<sub>3</sub>活性分子に加えて、H原子ラジカルがある。一般に、良質な膜を製膜するためには、これらのラジカルが途切れることなくプラズマから基板に入射することが好ましいと考えられる(後述する、プラズマOFFの間に増加するラジカルが必要な応用、たとえば塩素系ラジカルを用いたエッチングの例は、これとは反対に、プラズマが途切れた方が好ましい特殊な場合である)。本発明の方法によって定在波を移動させるとき、定在波の節に当たる部分では、つぎに定在波の腹の部分移動して来るまでプラズマがOFFの状態となっている。この状態が長いと、これらのラジカルの入射が途切れてしまう。これを途切れさせないためには、定在波の節の部分移動してから、腹の部分移動してくるまでの時間が、ラジカルの寿命時間以下になる必要がある。したがって、SiH<sub>3</sub>に関しては、上式(1)で決まる寿命以下の時間に定在波が移動する必要がある。また、H原子ラジカルに関しても、その寿命、すなわち1.1×10<sup>-4</sup>秒以下に定在波が移動する必要がある。位相を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間の1/2が定在波の節から腹が移動する時間であるので、上記のような条件が必要であることになる。

30 【0026】一方、本発明をたとえばプラズマOFFの間に増加する活性原子または活性分子またはイオンが必要な応用に適用する場合には、位相を変化させる周期、時間間隔、繰り返し時間を、当該活性原子または活性分子またはイオンの発生寿命より長く、かつ10倍以下とすることが好ましく、更に好ましくは2倍以上4倍以下とすることが好ましい。

【0027】本発明に係る高周波プラズマ生成方法は、上記の給電方法を用いてプラズマを空間的および時間的に移動させることにより、プラズマ内の活性分子の発生を高効率化することを特徴とする。

40 【0028】本発明に係る半導体製造方法は、上記の高周波プラズマ生成方法を用いて、半導体薄膜の製膜もしくはエッチングの分布均一化を図ることを特徴とする。

【0029】また、本発明に係る半導体製造方法は、上記の高周波プラズマ生成方法を用いて、半導体の製膜もしくはエッチングの高速化を図ることを特徴とする。

50 【0030】なお、使用する高周波の周波数は10~800MHzの範囲にあることが好ましい。高周波の周波数が10MHzを下回ると、微結晶シリコン薄膜などでは製膜速度が遅くなり、また、不均一の発生が問題とな

ることもないので、周波数の下限値を10MHzとした。一方、周波数が900MHzを上回ると、位相変調やFM変調によってさえも生成プラズマの均一化が困難になり、製膜速度またはエッチング速度にばらつきを生じるようになり、また、製膜品質が悪くなるので、周波数の上限値を900MHzとした。

#### 【0031】

【発明の実施の形態】以下、添付の図面を参照しながら本発明の種々の好ましい実施の形態について説明する。

【0032】（第1の実施形態）図1～図5を参照しながら本発明の第1実施形態の給電方法について説明する。

【0033】図1に示すように、プラズマCVD製膜装置1Aは、基板2を取り囲む真空チャンバ3と、この真空チャンバ3内で基板2に対面配置されるラダー電極5と、このラダー電極5に給電する給電回路8Aとを備えている。真空チャンバ3は図示しない排気通路を介して真空ポンプに連通し、内圧 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-6}$  Torr程度まで真空排気されるようになっている。また、真空チャンバ3内には図示しないガス供給管が電極5の後方に設けられ、ガス供給源から製膜プロセスガスとしてシランやジシランがガス供給管に供給されると、多数の吹き出し孔から電極5と基板2との間に製膜プロセスガスが供給されるようになっている。

【0034】基板2はアース電極4により保持され、内蔵ヒータ（図示せず）により所定温度域に加熱されるようになっている。なお、基板2には厚さ1mm×幅460mm×長さ460mmサイズの透明ガラス板を用いた。

【0035】放電電極としてのラダー電極5は、丸棒電極部材を等ピッチ間隔に格子状に組み立て配列してなるものであり、4つの給電点7で回路8Aの給電線（中心導体）6に接続されている。給電点7のうち2つはラダー電極5の一方端側に配置された丸棒電極部材のほぼ三等分点にそれぞれ設けられ、残りの2つはラダー電極5の他方端側に配置された丸棒電極部材のほぼ三等分点にそれぞれ設けられている。なお、ラダー電極5は例えば520mm×520mmサイズであり、丸棒電極部材は例えば直径6mmである。

【0036】給電回路8Aには、高周波発振器9、分配器10、フェーズシフター（位相シフタ）11、1対の増幅器12および1対の整合器13が設けられている。高周波発振器9は分配器10を介して1対の増幅器12に接続され、各増幅器12は整合器13にそれぞれ接続され、さらに各整合器13は各給電点7にそれぞれ接続されている。

【0037】分配器10の出力回路は2つに分岐し、一方の分岐回路にはコンピュータ14で駆動制御されるフェーズシフター11が設けられている。各分岐回路は、さらに2つにそれぞれ分岐し、給電点7を介して電極5

にそれぞれ接続されている。

【0038】高周波発振器9には定格周波数が60MHzの水晶発振器を用い、フェーズシフター11には全固体素子のアナログ電圧制御型位相器を用いた。高周波発振器9からは高周波（VHF）が発振され、これが分配器10によって分配され、増幅器12および整合器13、給電点7を介して電極5に給電されるようになっている。フェーズシフター11は、コンピュータ14から送られる所定の処理データ信号に基づいて一方側の分配VHFを最高100kHzで高速位相変調するようになっている。

【0039】図2及び図3に示すように、給電線（中心導体）6は同軸ケーブル61内を通して給電点7で電極5に接続されている。絶縁碍子63がカップリング62により同軸ケーブル61の先端に取り付けられ、電極5がケーブル61の外套から絶縁されている。絶縁碍子63には側部に開口する複数の孔64が形成されている。同軸ケーブル61内のガス通路66はガス供給源68および碍子の孔64にそれぞれ連通している。ガス供給源68には工業的に純粋な水素ガス $H_2$ が収容されている。水素ガスは、ガス供給源68から供給され、ケーブル61内のガス通路66を通して各側部孔64および上端孔65から吹出し、給電点7及びその周囲に存在するシランプラズマを追いつくとともに、水素濃度の高いプラズマにより、給電点付近の絶縁碍子63などにデポジットした不要な製膜成分をエッチングする役割を有する。このような水素ガスの吹き付けにより、電界集中部となる給電点7付近への不要な製膜成分のデポジットとパーティクルの発生を効果的に防止している。

【0040】次に、プラズマCVD製膜装置を用いてガラス基板上に微結晶Si膜を製膜する場合について説明する。

【0041】製膜条件として、基板サイズを46cm×46cm、基板温度を200℃、真空チャンバの内圧を150mTorr、シランガス供給量を50sccm、水素ガス供給量を1500sccmとした。

【0042】高周波電力の周波数は前述のように60MHzであり、この周波数では前述のように従来の給電法では定在波が生じ、このサイズの基板への均一な製膜は不可能である。

【0043】図4及び図5は、XY両軸に放電電極に対応する基板の位置をそれぞれとり、Z軸に製膜速度（nm/秒）をとって、位相変調器により位相差0度と90度の一定値に設定したときの製膜速度分布を示す三次元分布図である。このように、一定の位相差では定在波のために製膜速度分布が生じる。一方、両図から明らかに、位相差を変化させることによって製膜速度分布を変化させることができることが分かる。これは位相差の変化により、定在波分布が変化することが主因と考えられる。

【0044】そこで、本実施の形態では、2系統の給電系から高周波電力を供給し、その位相差を時間的に変化させることにより定在波を移動させ、時間積分において均一な製膜厚分布を得ることを特長としている。

【0045】一方、もし上記の位相差を変化させる時間がゆっくりであると、それに応じてプラズマ中の活性分子・原子などが増減するため基板へのこれら分子・原子の到達フラックスが時間的に変動するため、製膜速度が速いときと、遅いときがあり最悪の場合には全く製膜しないプラズマOFFに相当する状態になる場合もあるとともに、積まれていく膜の膜質が時間的に変化して行く状態となり、最終的にできあがった膜質に影響する場合があります。微妙な膜質が問題となる微結晶型シリコン薄膜太陽電池などでは問題があった。このため大面積の基板に対して均一で良質な膜質で製膜することが困難である。

【0046】またフェーズシフターの代わりに、機械式の位相変調器を用いるとすると、摺動部分が損耗し、頻繁に保守点検する必要があり、また高速な位相変調が不可能であるなどの問題がある。

【0047】これに対して本発明方法では、フェーズシフター11をコンピュータ14で高速かつ高精度に制御し、このフェーズシフター11の高速位相変調により電極5の一方端側に供給する高周波電力の位相を他方端側の高周波電力の位相からシフトさせているので、ある瞬間を見ると電極5上に定在波が生じ、電圧振幅分布の局所的なばらつきは生じるものの、処理時間全体で見ると電極5上の電圧振幅分布が平均化され、電極5と基板2との間に生成されるプラズマの密度が均一化される。

【0048】このような位相変調回路8Aを用いて最高100kHzで高周波を高速変調することにより、電極上に生じる定在波分布は当該周波数で移動することになり、これは製膜を支配するSiH<sub>4</sub>活性分子やH活性原子の寿命より十分早いいため、基板に到達するこれら活性分子・原子のフラックスは時間的にほとんど変化しないので、均一な膜厚で、良質で均一な膜質の製膜が可能となった。

【0049】さらに、予めいくつかの位相差での製膜速度分布をたとえば図4、図5に示したように計測し、これをコンピュータにインプットしておき、それをもとに均一分布を達成するために必要な各位相差での製膜時間割合を計算し、図8に示すような位相差の変化パターンを作成し、これを使用してフェーズシフターをコントロールすることにより、製膜膜厚分布、製膜膜質とも±5%以内に入る製膜ができるようになった。

【0050】製膜高周波電力の最大値を、高周波増幅器の最大電力の定格により制限される800W程度で運転したところ、平均値で2nm/秒程度の製膜速度が得られた。また、上述のように、製膜された膜の膜厚分布は、太陽電池や薄膜トランジスタTFTに必要な±5%

以内をクリアしていた。

【0051】(第2の実施形態)次に、図6を参照しながら第2の実施形態について説明する。なお、本実施形態が上記実施形態と重複する部分の説明は省略する。

【0052】プラズマCVD製膜装置1Bの高周波発振器9は整合器13を介して2つに分岐する給電回路8Bに接続されている。一方の分岐回路はさらに2つに分岐して2つの給電点7にて電極5に接続されている。他方の分岐回路には位相変調器15が設けられ、さらに2つに分岐して2つの給電点7にて電極5に接続されている。位相変調器15には真空コンデンサを有する機械駆動式を用いた。高周波発振器9は上記第1の実施形態と同じものを用いた。本実施形態ではこのような簡単な構成で多点給電方式の給電点7を2つのグループに分け、それぞれのグループの給電点への高周波電力の位相に位相差を持たせ、給電点7を介して電極5に印加することにより、定在波の位置を制御することが出来る。

【0053】本実施形態の装置1Bを使って製膜試験をした。製膜条件として、基板サイズを46cm×46cm、基板温度を200℃、真空チャンバの内圧を150mTorr、シランガス供給量を50sccm、水素ガス供給量1500sccm、高周波の周波数は60MHzとした。

【0054】この装置条件でも、たとえば、位相差0度と90度で図4と図5と同様の製膜速度分布が得られた。ただし、製膜速度の絶対値は1/5程度だった。

【0055】総製膜時間を6分間とし、このうち前半の3分間を位相差0度、後半の3分間を位相差90度で手動で制御し、製膜した。本実施の形態では、高周波電力を、位相変調器の定格により制限される200W程度で運転したところ、平均値で0.4nm/秒程度の製膜速度が得られた。このとき、分布は±15%とすこし悪い値であったが、なんとか低コストの太陽電池には使えるものであった。

【0056】(第3の実施形態)次に、図7を参照しながら第3の実施形態について説明する。なお、本実施形態が上記実施形態と重複する部分の説明は省略する。

【0057】プラズマCVD製膜装置1Cの高周波発振器9は分配器10を介して2つに分岐する給電回路8Cに接続されている。一方の分岐回路には増幅器12および整合器13が順次設けられ、さらに2つに分岐して2つの給電点7にて電極5に接続されている。他方の分岐回路には位相変調器15、増幅器12、整合器13が順次設けられ、さらに2つに分岐して2つの給電点7にて電極5に接続されている。なお、高周波発振器9および位相変調器15は上記の第2実施形態と同じものを用いた。

【0058】上記の第2実施形態では位相変調器15の定格電力が200W程度だったので、製膜速度の平均値は0.4nm/秒程度が限界であった。この第3の実施

形態では、高周波発振器9と増幅器12の間に位相変調器15を挿入し、小電力（弱い周波数）で位相差を変化させ、その後必要な高周波電力に増加させることを可能とした。

【0059】これにより、最大800Wまでの入力を行うことができ、製膜速度の平均値を2nm/秒程度まで高めることができた。位相差は変調器内の図示しないステッピングモータで真空コンデンサの回転角を変化させて容量を変化させ、位相差の変化範囲をその回転角範囲の調整で適正化することにより、膜厚分布を太陽電池製膜で好ましい10%以内に抑えることができた。

【0060】（第4の実施形態）次に、図9を参照しながら第4の実施形態について説明する。なお、本実施形態が上記実施形態と重複する部分の説明は省略する。

【0061】プラズマCVD製膜装置1Dは、電源としてFM変調機能付きの高周波発振器9Dを備えている。FM変調機能付きの高周波発振器9Dには任意波形発生器を用いた。高周波発振器9Dには増幅器12および整合器13が直列に接続されている。整合器13の出力側回路は2つに分岐し、各分岐回路8Dはさらに2つに分岐して、それぞれが1対の給電点7を介して電極5に接続されている。

【0062】本実施形態ではFM変調を用いることによってさらに簡易的に均一化を図る第4の実施形態を示す。この実施例では、発振器にFM変調機能付きの高周波発振器を用い、増幅器で増幅して電極に供給することにより、定在波を時間的に移動させた。発振周波数は200MHz、変調周波数は1MHz、最大偏移量は20%とした。これにより10cm角基板で均一性±10%以内が得られた。これは、従来法で行った場合の均一性±50%に比べて非常に良い結果である。

【0063】（第5の実施形態）S. Samukawa, "Role of Negative Ions in High-Performance Etching Using Pulse-Time-Modulated Plasma", Extended Abstracts of 4th International Conference on Reactive Plasmas, SR 1.04, pp. 415, 1998. にあるように、ハロゲン系のガス、例えば、塩素系のガスを用いてプラズマを発生させ、塩素負イオン(C1<sup>-</sup>)を発生させて半導体のエッチングに用いる場合、従来は、高周波電源から発生する電力をON/OFFすることにより、プラズマを発生、消滅させプラズマが消滅する際に電子付着効果により大量に塩素負イオンが発生することと、基板表面に生じる壁電荷が消滅する効果を用いてエッチングの高速化、高品質化を図っている。

【0064】本実施例ではこの効果を定在波を移動することによって生じさせることを狙っている。図3に示し

た第2の実施の形態において、2つの異なる周波数の差を4kHzとし、ハロゲン系のガス、例えば、塩素系のガスを用いてプラズマを発生させ、塩素負イオン(C1<sup>-</sup>)を発生させ、半導体のエッチングを行った。この時、定在波の膜の部分ではプラズマがONの状態、節の部分ではプラズマがOFFの状態になるので定在波を高速で移動させることにより高効率で大量にかつ簡単に塩素負イオンを発生させエッチングを高速で行うことができる。

【0065】定在波を移動させる速度、すなわち、位相の変化周期は、前記参考論文に示されている塩素負イオンの発生時間約100μ秒より長く、2倍以上4倍以下になるように、250μ秒程度とした。このとき、プラズマOFFの時間が125μ秒程度となり、充分な負イオン発生が得られる。これは周波数の差を4kHzにすることにより実現できる。

【0066】さらに、高周波の周波数に60MHzを用いることによって従来法で用いられる13.56MHzとくらべてプラズマ密度が高くなると同時にプラズマシース厚さが薄くなることにより、プラズマ中で発生する大量の塩素負イオンが効率的に基板面に流入し、エッチング速度がさらに速くなる効果が得られた。

【0067】これらの結果、従来の13.56MHz単一周波数を用いた場合の4倍程度のエッチング速度が得られた。

【0068】なお、上記1-6の実施形態では4点給電方式の例について説明したが、本発明はこれのみに限られることなく、2点給電方式、6点給電方式、8点給電方式、10点給電方式、12点給電方式など他の多点給電方式にも本発明を適用することができる。

【0069】また、上記1-5の実施形態では純粋水素ガスを各給電点に吹き付けて製膜成分のデポジットや粉の発生を防止する場合について説明したが、本発明はこれのみに限られることなくアルゴンガス等の他のガスを給電点に吹き付けるようにしても同様の効果が得られる。

【0070】また、この方法は、給電点だけでなく、そのほかの、不必要な製膜成分のデポジットや粉の発生が問題となる部分にも適用することができる。たとえば、電極をサポートする絶縁碍子製の柱にシリコン膜がデポジットすると柱の沿面絶縁強度が低下し、最悪の場合、地絡する可能性がある。この柱に上記例と同様な水素の局所的供給法を施した結果、デポジットが抑制され、地絡することが無くなった。

【0071】

【発明の効果】本発明によれば、大面積の製膜およびエッチング処理に高周波(VHF)を用いて均一な処理を行うことができる。プラズマCVD製膜においては高周波であるにも拘わらず広範囲にわたりプラズマ密度を均一化できる高周波プラズマ生成方法および半導体製

造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の回路を示すブロック構成図。

【図2】電極への給電端子の取り付け部分を示す図。

【図3】電極への給電端子の取り付け部分を拡大して示す断面ブロック図。

【図4】位相変調器により位相差0度に変調して製膜したときの製膜速度分布を示す特性分布図。

【図5】位相変調器により位相差90度に変調して製膜したときの製膜速度分布を示す特性分布図。

【図6】本発明の第2の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の回路を示すブロック構成図。

【図7】本発明の第3の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の回路を示すブロック構成図。

【図8】均一分布を得るためのフェーズシフター位相差の制御パターンを示すタイミングチャート。

【図9】本発明の第4の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の回路を示すブロック構成図。

【図10】定在波による電圧分布およびイオン飽和電流分布をそれぞれ示す特性線図。

【図11】従来の4点給電法を用いたときのラダー電極上に生じる電圧分布を示す特性線図。

【図12】平行平板の一端をロスの無いリアクタンス \*

\* (コイル) で終点したときの電圧分布図。

【符号の説明】

1 A, 1 B, 1 C, 1 D…プラズマCVD製膜装置、

2…基板、

3…真空チャンバ、

4…アース電極、

5…放電電極(ラダー電極)、

6…給電線(中心導体)、

7…給電点、

10 8 A, 8 B, 8 C, 8 D…給電回路、

9, 9 D…高周波発振器、

10…分配器、

11…フェーズシフター(位相シフター)、

12…増幅器、

13…整合器、

14…コンピュータ、

15…位相変調器、

61…同軸ケーブル、

62…カップリング、

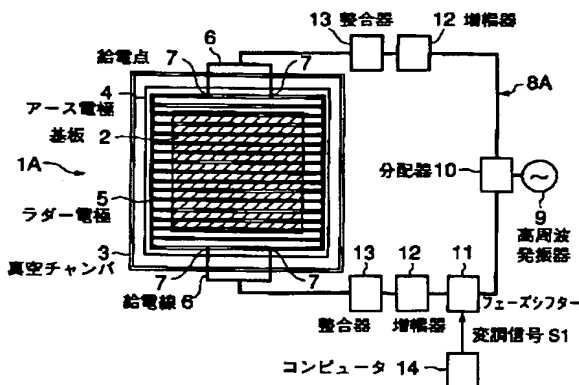
20 63…絶縁碍子、

64, 65…ガス吹出孔、

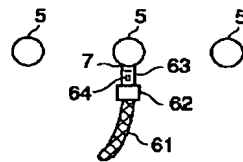
66…ガス通路、

68…ガス供給源。

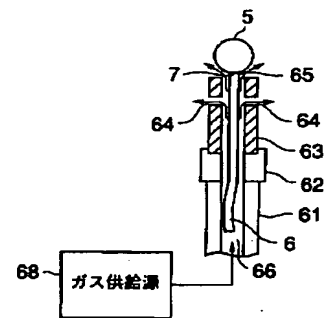
【図1】



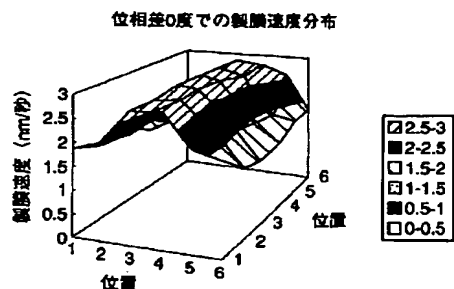
【図2】



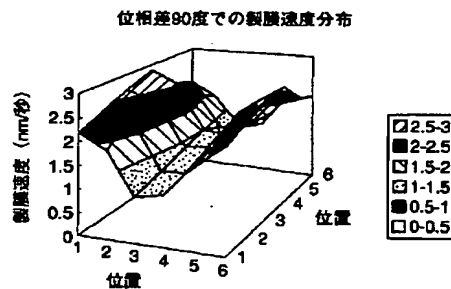
【図3】



【図4】

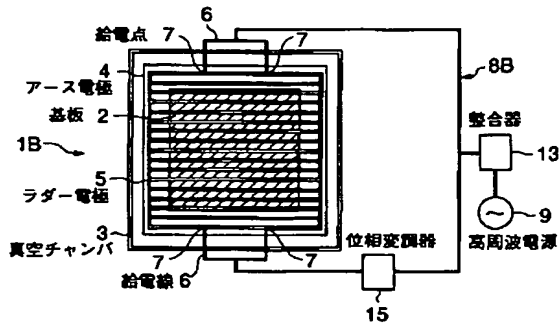


【図5】

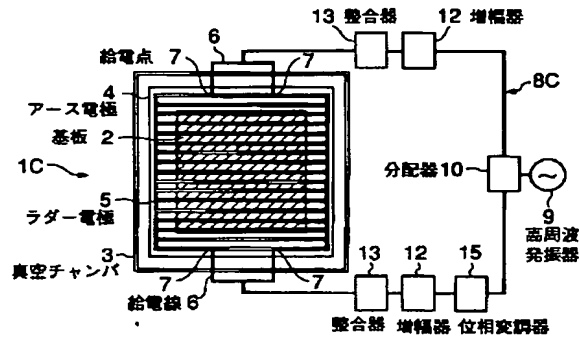




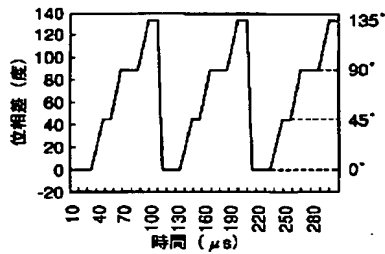
【図6】



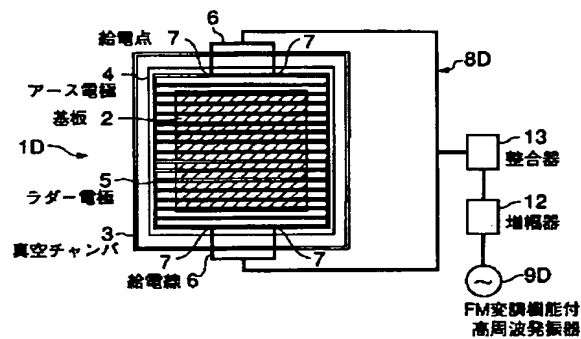
【図7】



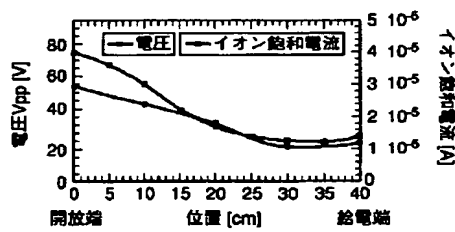
【図8】



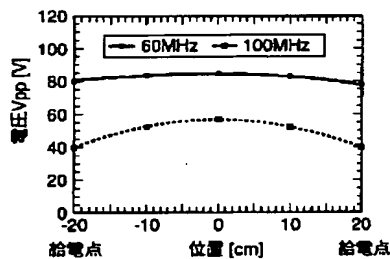
【図9】



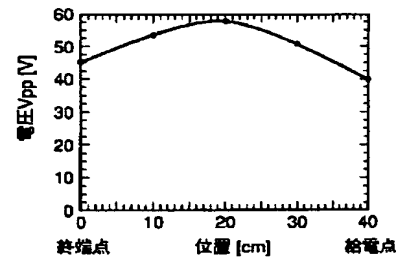
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 良昭  
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内  
(72)発明者 真島 浩  
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内

(72)発明者 青井 辰史  
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内  
(72)発明者 村田 正義  
長崎県長崎市深堀町五丁目717番地1 長  
菱エンジニアリング株式会社内

Fターム(参考) 4K030 AA06 AA17 BA29 BB04 CA06  
CA17 FA03 JA18 JA19 LA16  
5F004 AA01 AA03 BA04 BA06 BB11  
CA02 CA03 DA00 DA04 DA23  
5F045 AA08 AB04 AC01 AD06 AE19  
AF07 BB02 CA13 DP02 DQ10  
EB02 EB03 EH04 EH12 EH20